Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Mar.-Apr. 2024, p. 161-173

Spatial Analysis of Snow Cover in Western Iran Using Satellite Imagery

A. Faraji[1], M. Kamangar[2], S. Ashrafi[3*]

1 and 2- Associate Professor and Ph.D. Graduated, Department of Hydrology and Meteorology, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran, respectively.
3- Ph.D. in Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: s.ashrafi1984@yahoo.com)

Received: 11-08-2023 Revised: 18-11-2023 Accepted: 02-01-2024 Available Online: 02-01-2024	**How to cite this article:** Faraji, A., Kamangar, M., & Ashrafi, S. (2024). Spatial analysis of snow cover in western Iran using satellite imagery. *Journal of Water and Soil, 38*(1), 161-173. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.83893.1323

Introduction

Snow is a prevalent form of precipitation, particularly in mountainous and high latitude regions, characterized by ice crystals in various microscopic structures. It naturally accumulates in cold and elevated areas through the freezing of air and the unsuccessful melting of water into crystalline form (WMO, 2022). Snow cover plays a crucial role in determining water reserves, especially during warmer seasons. Monitoring snow cover is a specialized field within weather and climatology. Snow cover plays a key role in the balance of energy due to its high albedo. Climatologists and meteorologists, who analyze global climate changes, emphasize the significance of snow monitoring due to its impact on both daily weather patterns and long-term climate shifts (Bashir *et al*., 2010). Spatial studies of snow cover by using satellite data have become one of the high priority topics in geomatics research due to their applicability and high accuracy. Considering that the snow cover area in many regions of the world, including mountainous regions, affects water resources and meteorology, accurate spatial analysis and investigation of changes in the area of snow cover is very important. In this regard, use of satellite data and new tools in the spatial analysis of the snow cover area, as an efficient method in geomatics research, has received much attention (Cheng *et al*., 2019).

Data and Method

This research examines the changes in snow cover in the western part of Iran from 2001 to 2021. The study area includes the provinces of Kurdistan, Kermanshah, Ilam, Hamadan, and Lorestan, covering a total area of 466,121 square kilometers. The region is located between latitudes 31°51'36" to 36°49'45" N and longitudes 45°27'18" to 50°04'26" E. It encompasses the northern part of the Zagros Mountain range, which serves as the entry point for western weather systems into the country. Snow cover was assessed using Modis satellite images, with the NDSI index used to identify snow. The analysis revealed a trend in snow cover, which was further examined using the Mann-Kendall method. The spatial distribution and changes in spatial components (length, width, and height) were assessed using the G* Index.

Results and Discussion

To analyze snow cover in the western region, the snow cover index was calculated by averaging the images for each period. The area of snow cover was then determined for each period. Analysis of the winter snow cover area revealed a decreasing trend. The application of the Mann-Kendall method confirmed this decreasing trend,

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.83893.1323

which is statistically significant at the 95% confidence level. Additionally, considering the annual sinusoidal behavior of snow, it can be concluded that the seasonal component is the dominant factor in the region, with temperature changes primarily driven by seasonal variation due to its relative distance from the equator. Spatial analysis indicated that the distribution of snow cover follows a northwest-southeast direction, as evidenced by the standard deviation ellipse. More than 99% of snowfall is concentrated in high-altitude areas with a specific spatial arrangement. The hotspot map shows that surface snow cover is clustered in the west and southeast directions, predominantly at altitudes above 2200 meters. The clustering pattern of snow cover is more pronounced at higher latitudes and towards the western borders. These findings have important implications for water resource management, drought prediction, and the development of strategies to mitigate droughts.

Conclusion

This research demonstrates a decreasing trend in the area of snow cover during the winter season in the western part of Iran. Spatial analysis reveals that the major axis of snow distribution follows a northwest-southeast orientation, aligned with the mountainous terrain in that direction. The hotspot map highlights that surface snow cover is concentrated in the west and southeast directions, particularly at altitudes above 2200 meters. Hotspot analysis indicates that snow cover is clustered towards higher latitudes and more pronounced towards the western borders.

Keywords: Kendall trend, Moran, MODIS sensor, Snow cover

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۳، ص. ۱۷۳-۱۶۱

تحلیل فضایی سطح پوشش برف در غرب ایران با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای

عبدالله فرجی[۱] – **محمد کمانگر**[۲] – **سعیده اشرفی**[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

چکیده

تغییرات پوشش برف می‌تواند اثرات مهمی بر اکوسیستم‌ها داشته باشد، به‌ویژه در جاهایی که پراکندگی در پوشش زیاد است و بر شرایط بیوژئوشیمیایی خاک زیرین و همچنین پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش پایش و روند سطوح پوشش برف در بازه زمانی (۲۰۲۰-۲۰۰۱) در غرب ایران برای فصل زمستان با کاربرد تصاویر سنجنده MODIS و شاخص پوشش برف (NDSI) به‌صورت میانه تصاویر به‌وسیله الگوریتم نوشته‌شده در سامانه گوگل ارث اینجین استخراج و نقشه‌های آن ترسیم شد، سپس سری زمانی تصاویر روزانه استخراج و روند داده‌ها و الگوسازی آن با کاربرد آزمون تاو کندال و رگرسیون خطی انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان از روند کاهشی در مساحت پوشش برف در فصل زمستان دارد. همچنین با توجه به رفتار سالیانه سینوسی برف می‌توان بیان کرد که مؤلفه فصلی بودن بر تمام محدوده حاکم است، که به علت دور بودن نسبی محدوده غرب کشور از استوا، تغییرات دمایی با توجه فصلی بودن در این محدوده نمود دارد. نتایج تحلیل فضایی نشان داد که جهت بیضی مکانی پراکندگی برف در راستای شمال غربی به جنوب شرقی قرار گرفته و به تبعیت از آرایش مکانی ارتفاعات در این راستا گسترش یافته است. نقشه لکه‌های داغ نشان داد برف سطحی خاک به‌صورت خوشه‌ای در راستای غرب و به جنوب شرق و در ارتفاعات بالاتر از ۲۲۰۰ متر قرار دارد. تحلیل لکه‌های داغ نشان داد پوشش برف به سمت عرض‌های بالا و بیشتر به طرف مرزهای غربی الگوی خوشه‌بندی قراردارد. نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آبی، پیش‌بینی خشکسالی و برنامه‌ریزی برای مقابله با آن مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: پوشش برفی، روند من کندال، سنجنده MODIS، موران

مقدمه

برف یکی از اشکال ریزش به‌خصوص در نواحی کوهستانی و مناطق با عرض جغرافیایی بالا است که به‌صورت بلورهای یخی در اشکال میکروسکوپی متفاوت (گرد، مخروطی و یا به فرم‌های هشت گوشه) دیده می‌شود (Mir Mousavi & Sabor, 2014). این دانه‌ها بسیار شکننده بوده و ممکن است در موقع سقوط به یکدیگر برخورد نموده و حجم زیادی را تشکیل دهند (Zare Abyaneh, 2013). برف به‌صورت یک روکش یخی یا بلورین از بخار آب است که به‌صورت پوشش سفید رنگ سطح زمین را پوشانده و به‌صورت طبیعی در مناطق سرد و کوهستانی به‌دلیل یخبندان هوا به‌صورت بلورین شکل می‌گیرد، اما ممکن است به‌صورت مصنوعی در مناطق گرم و معتدل نیز تولید شود (WMO, 2022). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برف، شامل چگالی، حجم پوشش، محتوای آب، pH، دانسیته و مواد معدنی، در محیط‌زیست تأثیراتی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، آب‌وهوا، گیاهان و جانوران، خاک و منابع طبیعی، ایجاد می‌کنند (Arndt *et al.*, 2017). پوشش برفی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب، به‌ویژه فصول گرم سال محسوب می‌شود. پایش پوشش برفی یکی از مباحث ویژه در حیطه هوا و اقلیم‌شناسی است. پوشش برفی با توجه به سپیدایی بالا نقش کلیدی در ترازمندی انرژی تابشی دارد. از نظر اقلیم‌شناسان

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: s.ashrafi1984@yahoo.com)

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.83893.1323

و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی را مطالعه می‌کنند در یک دید جهانی، به‌دلیل اینکه خصوصیات فیزیکی برف بر تغییرات روزانه و حتی بلند مدت اقلیمی تأثیر می‌گذارد پایش برف یک ضرورت است (Bashir *et al.*, 2010).

مطالعات فضایی سطح پوشش برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل قابلیت کاربردی و دقت بالای آن‌ها، به یکی از موضوعات مهم در تحقیقات ژئوماتیک تبدیل شده است. با توجه به اینکه سطح پوشش برف در بسیاری از مناطق جهان، از جمله مناطق کوهستانی، منابع آبی و هواشناسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تحلیل فضایی دقیق و بررسی تغییرات سطح پوشش برف از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این راستا، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ابزارهای جدید در تحلیل فضایی سطح پوشش برف، به‌عنوان یک روش کارآمد در تحقیقات ژئوماتیک، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Cheng *et al.*, 2019).

ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2021) با استفاده از داده‌های MODIS، تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های پامیر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ را مورد بررسی قرار دادند. در این راستا، روش‌های پردازش تصویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پوشش برف در کوهستان‌های پامیر در طول دوره مورد مطالعه کاهش یافته است و این کاهش بیشتر در بخش‌های شمالی و شمال غربی منطقه رخ داده است. همچنین، نتایج نشان داد که تغییرات پوشش برف در این منطقه با بارش و دما همبستگی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های پامیر، که یکی از مناطق حساس در قالب تأمین آب است، به‌عنوان یکی از تأثیرات تغییرات اقلیمی مطرح است.

غلام و همکاران (Ghulam *et al.*, 2021) داده‌های چند منبع ماهواره‌ای از جمله داده‌های MODIS را برای بررسی تغییرات و روند پوشش برف در منطقه هیمالیا مورد استفاده قرار دادند. روش کار در این مقاله شامل پردازش داده‌های ماهواره‌ای و استفاده از تحلیل‌های آماری بوده است. نتایج نشان داد که مساحت پوشش برف در منطقه هیمالیا در حال کاهش است و این کاهش بیشتر در زمستان در مقایسه با بهار و تابستان رخ می‌دهد. همچنین، نتایج حاکی از تأثیر تغییرات دما و بارش بر تغییرات پوشش برف در این منطقه بوده است. این نتایج می توانند به‌عنوان مبنایی برای اتخاذ تصمیمات در زمینه مدیریت منابع آب و تغییرات اقلیمی در منطقه هیمالیا مورد استفاده قرار گیرند.

ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2021) تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های تیان‌شان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ را با استفاده از داده‌های MODIS بررسی کرده‌اند. برای این منظور روش‌های پردازش تصویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری مورد استفاده بوده است. نتایج نشان دهنده کاهش پوشش برف در کوهستان‌های تیان‌شان به‌ویژه در بخش‌های جنوبی و شمالی آن در طول دوره مورد مطالعه است. همچنین، تغییرات دما و بارش همبستگی بالایی با تغییرات پوشش برف در این منطقه دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که کاهش پوشش برف در کوهستان‌های تیان‌شان می‌تواند تأثیرات جدی بر روی تأمین آب و محیط زیست منطقه داشته باشد. به علاوه، این مطالعه نشان می‌دهد که داده‌های MODIS می‌توانند برای بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی مفید باشند.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2021) با استفاده از داده‌های MODIS، تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ را با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از کاهش پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام در طول دوره مورد مطالعه بوده است که این کاهش بیشتر در بخش‌های جنوبی و شرقی منطقه رخ داده است. همچنین، تغییرات پوشش برف در این منطقه با تغییرات دما و بارش همبستگی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که کاهش پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام می‌تواند تأثیرات جدی بر روی تأمین آب و محیط‌زیست منطقه داشته باشد. همچنین، داده‌های MODIS می‌توانند برای بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی مفید باشند.

با توجه به این تحقیقات، نتایج نشان می‌دهد که پوشش برف در مناطق کوهستانی در حال کاهش است و این کاهش می‌تواند تأثیرات جدی بر روی منابع آب و محیط‌زیست مناطق کوهستانی داشته باشد. داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند به‌عنوان یک ابزار مفید برای بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی استفاده شوند. به علاوه، بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی می‌تواند به درک بهتری از تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی منابع آب و محیط‌زیست کمک کند. همان‌طور که استخراج نقشه‌های برف امری مهم است، ارزیابی تغییرات مکانی در طی زمان نیز بسیار مهم می‌باشد. همچنین در مطالعات پیشین کمتر به تحلیل مکانی و تغییرات پراکندگی برف خاک بر اثر عامل‌های تقریباً ثابت در زمان همچون نوع خاک و یا ارتفاع و یا عامل‌های ناپایدار در زمان همچون بارش پرداخته‌شده است.

بارش برف در ایران به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب در فصول گرم سال استفاده می‌شود و برای کشاورزی و دامداری بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر این، بارش برف در ایران به‌عنوان یکی از جذابیت‌های گردشگری نیز شناخته شده است. همچنین، بارش برف در ایران می‌تواند به‌عنوان یک مهار کننده‌ی طبیعی در برابر خشکسالی و کاهش سطح آب در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها عمل کند. همین امر اهمیت پایش و بررسی تغییرات پوشش برف در ایران و تأثیر آن بر روی منابع آب و محیط زیست را افزون می‌کند. از طرفی برف یکی از مؤلفه‌های مهم کنترل کننده هیدرواقلیم هر ناحیه جغرافیایی (Ghaemi & Nouhi, 1976) و نیز یکی از مهمترین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی است، که نقش مهم و عمده‌ای را در تغییرات اقلیمی سطح زمین بازی می‌کند. همچنین پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده

در حوضه‌های کوهستانی است. آب معادل برفِ پوشش برفی حدود یک سوم آب مورد نیاز بخش کشاورزی، رطوبت خاک، ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه را در سراسر جهان تأمین می‌کند (Goodinson *et al.*, 2000). نواحی غربی ایران به دلیل وسعت مناطق کوهستانی، بیشتر نزولات خود را به‌صورت برف دریافت می‌کنند و دارای ذخایر برفی در طول سال هستند. از این رو این غرب کشور به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و تغییرات پوشش برف آن مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل فضایی سطح پوشش برف در غرب ایران به‌دلیل تأثیر قابل توجه آن بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، منابع آبی و حمل و نقل، توجه بیشتری به خود جلب کرده است. در سال‌های اخیر، تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای پایش و تحلیل تغییرات سطح پوشش برف در این منطقه به کار گرفته شده‌اند (Mir Mousavi & Sabor, 2014). پوشش برفی غرب کشور نیز نقش کلیدی در منابع آبی دارد، لذا مدیریت علمی این ذخایر آبی ضروری است. پوشش برفی با گذشت زمان تغییرات زیادی را نشان می دهد. بنابراین پایش زمانی– مکانی سطح پوشش برف و آب معادل برف، اهمیت بالایی دارد. ایستگاه‌های برف‌سنجی در غرب ایران بسیار محدود است. با استفاده از تصاویر سنجش از دور و تکنیک‌های استخراج پدیده‌ها می‌توان محدوده‌های وسیع و در زمان‌های متناوب را پایش نمود. برف در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک امواج الکترومغناطیس دارای انعکاس شدیدی نسبت به دیگر سطوح از جمله آب، خاک و پوشش گیاهی است. با استفاده از این خاصیت و شگردهای سنجش از دور می‌توان در تصاویر ماهواره‌ای برف را شناسایی کرد و با توجه به پوشش سراسری و تصاویر زمانی تغییرات مکانی– زمانی این پدیده در محدوده وسیع را برآورد کرد. هدف از این تحقیق استخراج، بررسی روند و تحلیل فضایی مساحت پوشش برفی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در غرب کشور در راستای استخراج نقشه‌هایی جهت برنامه‌ریزی‌های محیطی است.

مواد و روش‌ها

معرّفی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد مطالعه شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان و با وسعت ۴۶۶/۱۲۱ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی "۳۶ '۵۱ °۳۱ تا "۴۵ '۴۹ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی "۱۸ '۲۷ °۴۵ تا "۲۶ '۰۴ °۵۰ شرقی واقع شده است (شکل ۱). براساس پهنه‌بندی آب و هوایی ایران در سیستم کوپن که توسط گنجی (Ganji, 2003) صورت گرفته است، بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان، کرمانشاه و لرستان دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای است و در نواحی مرتفع زاگرس نیز آب‌وهوای سرد و خشک مشاهده می‌شود. بخش‌های دیگر منطقه از جمله بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه و ایلام دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است (Abrifam, 2010). براساس تقسیم‌بندی علیجانی (Alijani, 2012) نیز غرب ایران به‌طور کلی دارای آب‌وهوای کوهستانی و پایکوهی است. وضعیت حرارتی ناحیه در تابستان همگن‌تر از زمستان است. این محدوده در دوره سرد سال، به علت حاکمیت بادهای غربی و نزدیکی به منبع رطوبتی دریای مدیترانه بارندگی زیادی دارد، اما دوره گرم سال نفوذ پرفشار آزور باعث کاهش بارندگی می‌شود (Mojarad & Masoompour, 2013).

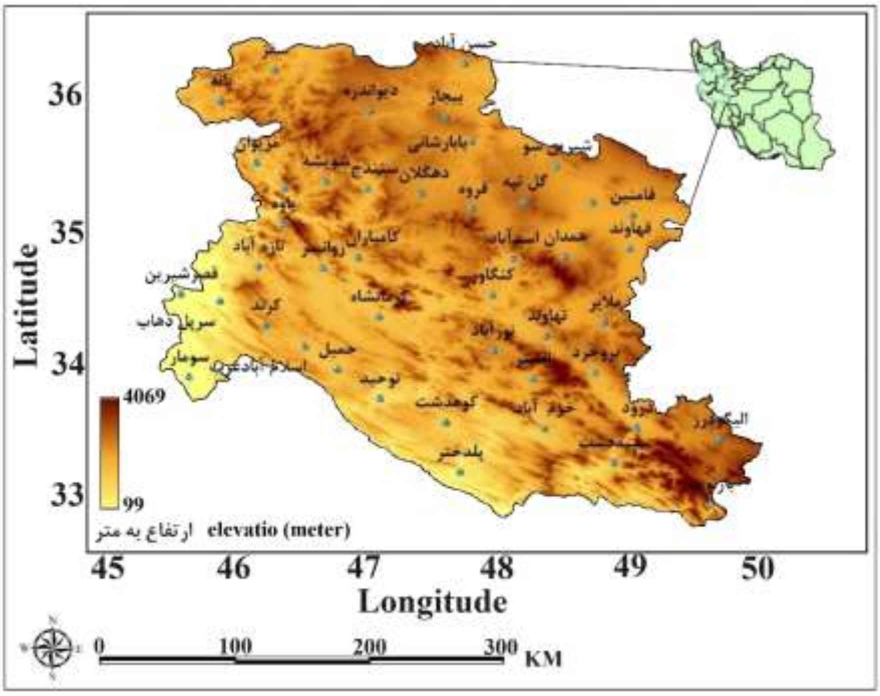
محدوده مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر سامانه مرطوب مدیترانه‌ای و اقیانوس اطلس و سامانه‌های سودانی قرار دارد که با عبور این جریان‌ها از روی محدوده و برخورد با ارتفاعات زاگرس مقدار زیادی از رطوبت خود را به‌صورت باران و برف از دست داده و عامل عمده ریزش‌های جوی کشور را نیز تشکیل می‌دهند. علیجانی (Alijani, 2008) بالاتر بودن ارتفاع در قسمت‌های شمالی زاگرس را عاملی بر بیشینه بودن بارش‌ها در این ناحیه می‌داند.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در بازه سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ بهره گرفته شد. این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی شامل ۱۱ باند در محدودهٔ نور مرئی، هفت باند در محدودهٔ نزدیک به مادون‌قرمز، دو باند در محدودهٔ مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه، هشت باند در محدودهٔ مادون‌قرمز طول‌موج متوسط و هشت باند در محدودهٔ مادون‌قرمز طول‌موج بلند یا حرارتی است. قدرت تفکیک مکانی باندهای یک و دو در این سنجنده برابر با ۲۵۰ متر، باندهای سه تا هفت برابر با ۵۰۰ متر و باندهای حاوی هشت تا ۳۶ برابر با یک کیلومتر است (Rasouli, 2011).

یک شاخص طیفی سنجش از دوری با استفاده از محاسبه ریاضیاتی و آماری بین دو یا چند باند طیفی داده‌های سنجش از دوری بدست می‌آید و به واسطه آن یک پدیده یا عارضه بر روی زمین، بارز و شناسایی می‌شود. با استفاده از شاخص طیفی می‌توان پوشش‌های مختلف مانند برف را به‌دلیل بازتاب متفاوت در باندهای مختلف از سایر پوشش‌ها متمایز ساخت. یکی از مهمترین شاخص‌های شناسایی برف شاخص NDSI است که با تفاضل بین بازتاب باند مرئی (B4 مادیس) و باند مادون قرمز میانی (B6 مادیس) طبق رابطه ۱ به‌دست می‌آید.

$$NDSI = (B4 - B6) / (B4 + B6) \quad (۱)$$



شکل ۱- موقعیت محدوده موردمطالعه در ایران
Figure 1- Location of the studied area in Iran

در شاخص NDSI به‌منظور جلوگیری از قرار گرفتن آب در گروه برف، باند ۲ بزرگتر یا مساوی ۰/۱۱ می‌باشد، بدین دلیل با اعمال آستانه B2>0/11 سطوح برفی از سطوح آبی متمایز می‌گردد. همچنین جهت جلوگیری از قرارگیری اشیا تیره به‌عنوان برف باند ۴ بزرگتر یا مساوی ۰/۱ نیز حذف می‌گردد (Ildermi, 2015). با توجه به گستره محدوده مورد مطالعه از گوگل ارث اینجین (GEE) به‌عنوان یک پلتفرم متن باز استفاده شد. از مزایای GEE وجود کتابخانه گسترده‌ای از مجموعه داده‌های مکانی است که امکان بهره‌گیری گسترده از تصاویر ماهواره‌ای و قدرت محاسباتی را فراهم می‌آورد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در بازه سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ به‌صورت بازه‌های هفت ساله استفاده شده است.

آشکارسازی روند

روند، تغییرات آرام و یکنواخت و درازمدت در میانگین مشاهدات و حالتی کمابیش پایدار از افزایش، کاهش، ثبات یا توأم است. واکاوی روند شامل دو مرحله آشکارسازی و الگوسازی روند است. آشکارسازی روند با استفاده از روش‌های آماری- ترسیمی و یا روش تحلیلی (مانند رگرسیون و مک کندال) انجام می‌شود.

آزمون من- کندال: در این روش ابتدا آماره S و واریانس طبق روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید.

$$s = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{J=I+1}^{N} sgn(x_{j-} x_{i}) \quad (۲)$$

$$Var(s) = \frac{n-(n-1)(2n+5)-\beta}{18} \quad (۳)$$

درنهایت آماره آزمون (z) با کاربرد رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var (s)}}} \\ 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var (s)}}} \end{cases} \quad (۴)$$

فرضیه صفر H_0 برای این آزمون اصل برائت است. به این معنا که هیچ روندی در سری وجود ندارد. سه فرضیه خلاف مبنی بر وجود روند منفی، غیر صفر یا مثبت می‌تواند انتخاب شود. در آزمون کندال فصلی مقایسه در عرض مرزهای فصول انجام نمی‌گردد. آماره s کندال برای هر فصل محاسبه و با یکدیگر جمع می‌گردند (رابطه ۵) تا آماره کلی کندال S′ (رابطه ۶) حاصل شود (Eslamian *et al*., 2005).

$$S = \sum_{j=1}^{n} S_j \quad (۵)$$

$$S' = \sum_{j=1}^{n} S_j \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_i - x_j)$$

$$\tau = \frac{2S}{N(N-1)} \quad (۶)$$

که N تعداد ماه‌ها یا فصل و Sj آماره من کندال برابر ماه j ام است. در صورت عدم همبستگی متوالی در داده‌ها، واریانس از رابطه ۷ به‌دست‌آمده و اگر در داده‌های سری زمانی همبستگی متوالی وجود داشته باشد از رابطه ۸ واریانس S′ قابل محاسبه است.

$$\sigma^2_{S'} = \sum_{j=1}^{p} \text{var}(S_j) \quad (۷)$$

$$\sigma^2_{S'} = \sum_{j=1}^{p} \mathrm{var}(S_j) + \sum_{g=1}^{p-1}\sum_{h=g+1}^{p} \sigma_{gh} \qquad (۸)$$

σ_{gh} کواریانس بین آماره کندال در فصل g و فصل h را نشان می‌دهد. با فرض استقلال داده‌ها می‌توان فرض کرد که cov(Sg, Sh) در این صورت مقدار آماره Z' از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$Z' = \begin{cases} \frac{S'-1}{\sigma_{S'}}, S' > 0 \\ 0, S' = 0 \\ \frac{(S'+1)}{\sigma_{S'}}, S' < 0 \end{cases} \qquad (۹)$$

مقدار τ کلی نیز از میانگین وزنی τj برای فصل p از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (Helsel & Hirsch, 2002).

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^{p} n_j \tau_j}{\sum_{j=1}^{p} n_j} \qquad (۱۰)$$

روش‌های برآورد ضرایب رگرسیون خطی در برآورد روند شامل سه گروه عمده پارامتری (کمترین قدر مطلق انحراف، کمترین مربعات باقی مانده)، ناپارامتری و روش توزیع احتمال (بیزی) است. در روش کمترین مربعات باقی‌مانده اندیشه اصلی برآورد خط رگرسیون برازش خط مستقیم از میان سری زمانی است. به‌طوری‌که مجموع مربع مانده‌ها کمینه شود. برآورد کمترین مربعات ضرایب رگرسیون با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲محاسبه می‌گردد (Asakereh, 2012).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(T_i-\bar{T})(Z_i-\bar{Z})}{\sum_{i=1}^{n}(T_i-\bar{T})^2} \qquad (۱۱)$$

$$a = \bar{Z} - b\bar{T} \qquad (۱۲)$$

در اینجا $\bar{T}$ و $\bar{Z}$ به‌ترتیب، میانگین زمان و متغیر اقلیمی است. معنادار بودن b را می‌توان براساس فرض صفر $(H0: \beta = 0)$ با کاربرد رابطه ۱۳ آزمون کرد.

$$t = \frac{\sum_{T=1}^{n}(Z_T-a-b)^2}{\mathrm{SE}(b)} \qquad (۱۳)$$

در اینجا SE(b) انحراف استاندارد b است که به‌صورت رابطه ۱۴محاسبه می‌شود:

$$SE(b) = \sqrt{\frac{\sum_{T=1}^{n}(Z_T-a-b)^2}{(n-2)\sum_{i=1}^{n}(T_i-\bar{T})^2}} \qquad (۱۴)$$

فرآیند تحلیل فضایی وصیف چگونگی و استدلال چرایی پراکندگی‌ها را شامل می‌شود (Alijani, 2015). نتیجه این فرآیند تولید دانش علمی مستند و نهایتا تبیین پراکندگی است (Harvey, 1996). اندازه‌گیری‌های توزیع مکانی داده‌ها این امکان را به ما می‌دهد تا تغییرات توزیع فضایی در راستای مولفه‌های مکان یعنی طول، عرض و ارتفاع را بررسی و مقایسه کنیم. با استفاده از آماره جی طبق رابطهٔ ۱۵ می‌توان وجود یا عدم وجود خوشه‌بندی زیاد و کم پوشش برفی را بررسی کرد.

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{T=1}^{n}(Z_T-a-b)^2}{(n-2)\sum_{i=1}^{n}(T_i-\bar{T})^2}} \qquad (۱۵)$$

یکی دیگر از توابع بررسی توزیع بررسی الگوی فضایی پدیده‌ها تابع کاریپلی[1] است که نشان دهنده وضعیت خوشه‌بندی پدیده‌ها در فواصل مختلف جغرافیایی است که با استفاده از رابطهٔ ۱۶ بدست می‌آید. در این رابطه d فاصله، n برابر با تعداد کل پیکسل‌های برفی موجود، A مساحت و $k(i,j)$ وزن است.

$$L(d) = \sqrt{\frac{A\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1, j\neq i}^{n} k(i,j)}{\pi n(n-1)}} \qquad (۱۶)$$

برای بررسی الگو توزیع خودهمبستگی فضایی پوشش برفی از تحلیل خوشه و ناخوشه که به شاخص انسلین محلی موران معروف است، استفاده شده است که یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت شناسایی خود همبستگی فضایی مشاهدات و الگوی فضایی آن‌ها می باشد. آماره محلی موران I به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (Asgari, 2011):

$$I = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2}\sum_{j=1\, j\neq i}^{n} w_{i.j}\,(x_i - \bar{X}) \qquad (۱۷)$$

که در آن x_i خصیصه عارضه i و $\bar{X}$ میانگین خصیصه مربوط و $w_{i.j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد و:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1\, j\neq i}^{n} w_{i.j}}{n-1} - \bar{X}^2 \qquad (۱۸)$$

که در آن n برابر با تعداد کل عارضه هاست. امتیاز استاندارد $z\, I_i$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$z_{Ii} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V}[I_i]} \qquad (۱۹)$$

در اینجا خواهیم داشت:

$$E[I] = -\frac{\sum_{j=1\, j\neq i}^{n}}{n-1} \quad V[I] = E[I_1^2] - E[I_1^2] \qquad (۲۰)$$

نتایج

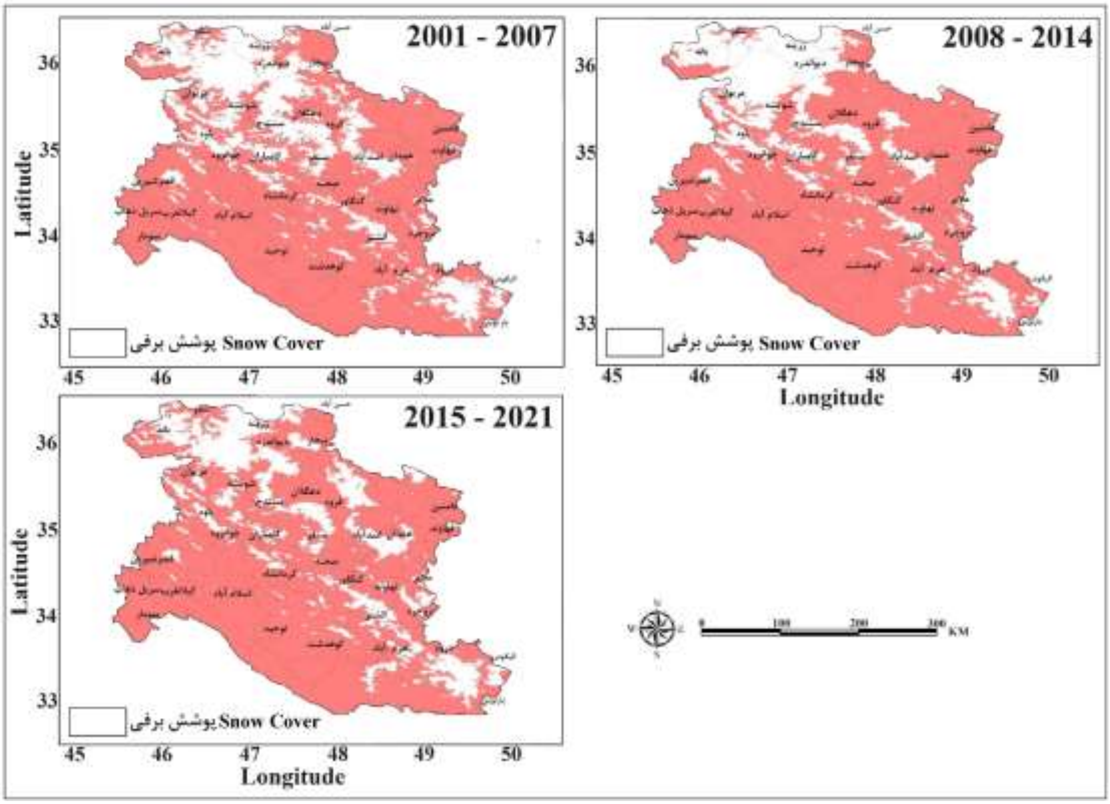
در گام اول، به منظور سهولت کار، دوره مورد مطالعه به ۳ دوره ۷ ساله (۲۰۲۱ — ۲۰۱۵، ۲۰۱۴ — ۲۰۰۸، ۲۰۰۷ – ۲۰۰۱) تقسیم و سپس برای هر دوره جداگانه شاخص پوشش برف محدوده مورد مطالعه به صورت میانه تصاویر استخراج شد (شکل ۲)، سپس مساحت برفی در هر بازه زمانی طبق جدول ۱ به‌دست آمد. یادآور می‌شود نقشه‌های پوشش برف حاصله به‌صورت صفر و ۱ تهیه شده‌اند، بدین معنی که هر نقشه شامل دو عرصه پوشیده از برف (دارای کد ۱) و فاقد برف (دارای کد ۰) می‌باشد. همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود در دوره اول (۲۰۰۷–۲۰۰۱) بخش وسیعی از قسمت‌های شمالی و جنوب‌شرقی منطقه دارای پوشش برفی بوده است. جهت شمال غربی—جنوب شرقی محدوده پوشش برفی نشان دهنده‌ی نقش ارتفاعات زاگرس در بارش برف است. در دوره‌های دوم (۲۰۱۴–۲۰۰۸) و سوم (۲۰۲۱–۲۰۱۵) نیز جهت شمال غربی—جنوب شرقی در پوشش برفی دیده می‌شود. با این تفاوت که در دوره‌های ذکر شده پوشش برفی در منطقه کاهش داشته است. به‌طوری‌که در دوره سوم به کمترین مقدار خود رسیده است. با

1- Ripley' s K-function

این حال همین پوشش اندک برفی نیز با جهت شمال غربی—جنوب شرقی و در نقاط مرتفع زاگرس توزیع شده است. جدول ۱ درصد مساحت منطقه پوشش برفی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ مساحت پوشش برفی منطقه مورد مطالعه را در بازه‌های زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طور که آشکار است، از ابتدا تا انتهای دوره مورد مطالعه، پوشش برفی منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است. این کاهش در سال‌های انتهایی بسیار قابل توجه بوده است. به‌طوری‌که در دوره انتهایی مساحت نواحی پوشیده از برف به کمتر از ۱۰ درصد مساحت منطقه تنزل پیدا کرده است.

توجه به نقشه‌های پوشش برفی و نیز بررسی جدول مساحت پوشش منطقه برفی گویای وجود روند در میزان پوشش برفی در منطقه غرب کشور می‌باشد. به همین علت تصاویر روزانه به‌صورت سری زمانی استخراج و بررسی روند و الگوسازی روند بر روی آنها صورت گرفت. جدول ۲ نتایج حاصل از بررسی روند بر اساس روش من کندال را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه پوشش برف میانه زمستانه غرب کشور در بازه زمانی مورد مطالعه

Figure 2- Mid-winter snow cover map of western country in the studied period

جدول ۱- درصد مساحت پوشش برفی ناحیه مورد مطالعه در بازه زمانی مورد مطالعه

Table 1- The percentage of the area covered by snow in the study area in the study period

2015-2021	2008-2014	2001-2007	بازه زمانی Period
6.62	19.43	39.76	مساحت Area (%)

جدول ۲- آماره‌های من کندال فصلی تغییرات مساحت سطح پوشش برف

Table 2- Man Kendall results of seasonal changes in snow cover area

P_Value	شاخص فصلی (S′) Seasonal Index	آماره تاوکندال Kendall τ Index	متغیر variant
0.0403	9525	983523877	Snow Area

با توجه به حد بحرانی آماره تاو کندال و P_Value کوچکتر از ۰/۰۵ فرض صفر رد شده و وجود روند در مساحت برف پذیرفته می شود. در ادامه با الگوسازی رگرسیون خطی بر داده‌ها میزان شیب، عرض از مبدأ و معناداری ضرایب در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گردید. معادله خط و مقادیر P_Value در زیر معادله دیده می‌شود.

$$\text{مساحت پوشش برفی غرب} = 3960 - 0.073\,t$$

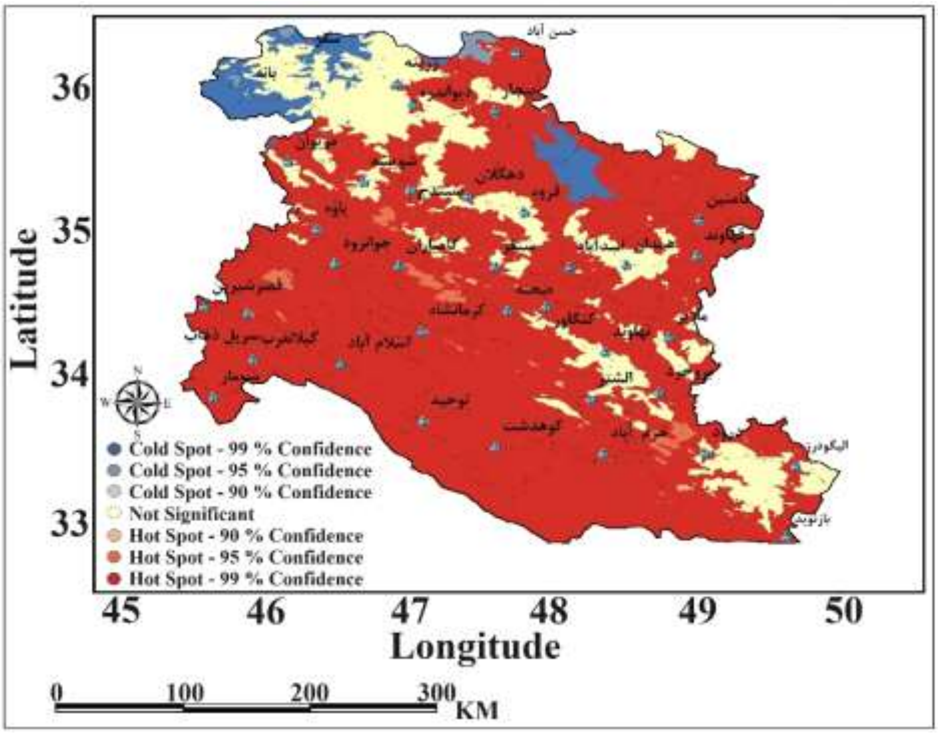
$$P_{Value} = (0.000)(0.002)$$

برای درک الگوی خوشه‌ای و یا پراکنده بودن برف خاک، آماره موران خودهمبستگی مکانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۴ و جدول ۳ گنجانده شده است. در این شکل نحوهٔ پراکنش تجمع رویدادها از حالت پراکنده تا خوشه‌ای و سطح معنی‌داری با آماره p_value و مقادیر بحرانی (آماره Z) آورده شده است. به‌منظور شناخت مکانی فراوانی نقاط داغ و نقاط سرد آماره جی گیتس محاسبه شد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۳ دیده می شود، خوشه‌های داغ در اطراف قروه و بانه نمود بیشتری پیدا کرده‌اند. بعد از بررسی خوشه‌بندی داغ و سرد پراکندگی پوشش برفی جهت بررسی وضعیت خوشه‌بندی در فواصل مختلف نتایج تابع کاریپلی (شکل ۳) نیز محاسبه شد. در این شکل محور افقی فاصله به متر، خط مورب پررنگ آبی‌رنگ الگوی توزیع تصادفی و خط قرمزرنگ نتایج مشاهده را نشان می‌دهد.

جدول ۳- خلاصه آماره کلی موران محاسبه‌شده

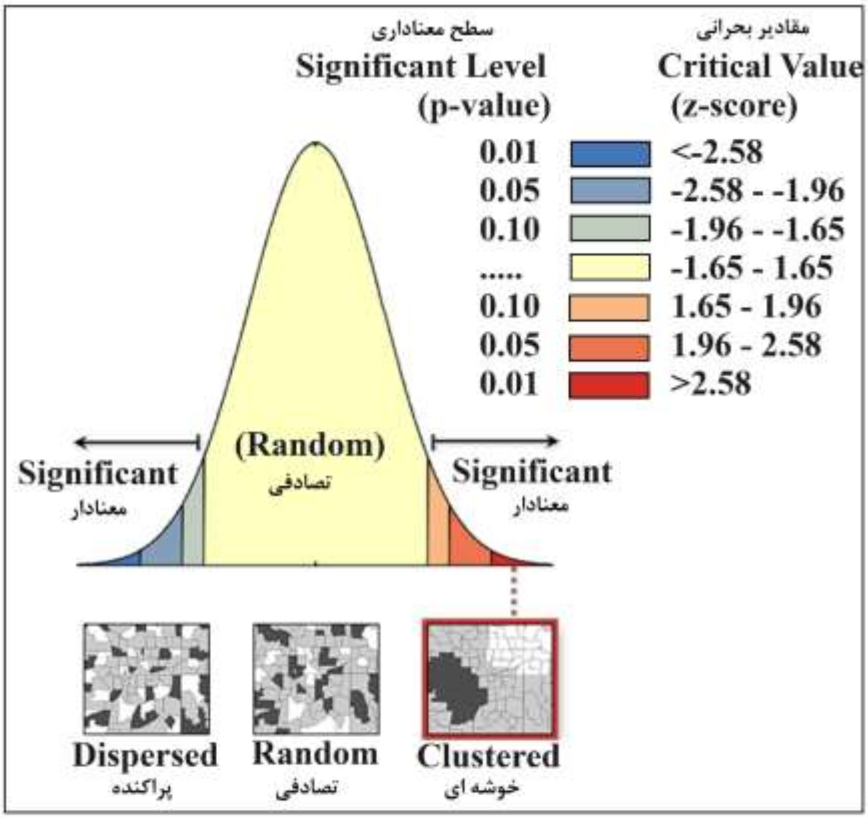
Table 3- Summary of the calculated overall Moran's statistic

مقدار P P-value	نمره z Z-score	واریانس Variance	شاخص مورد انتظار Expected Index	شاخص موران Moran Index
0.0000	10.87	0.0003	-0.0021	0.1953



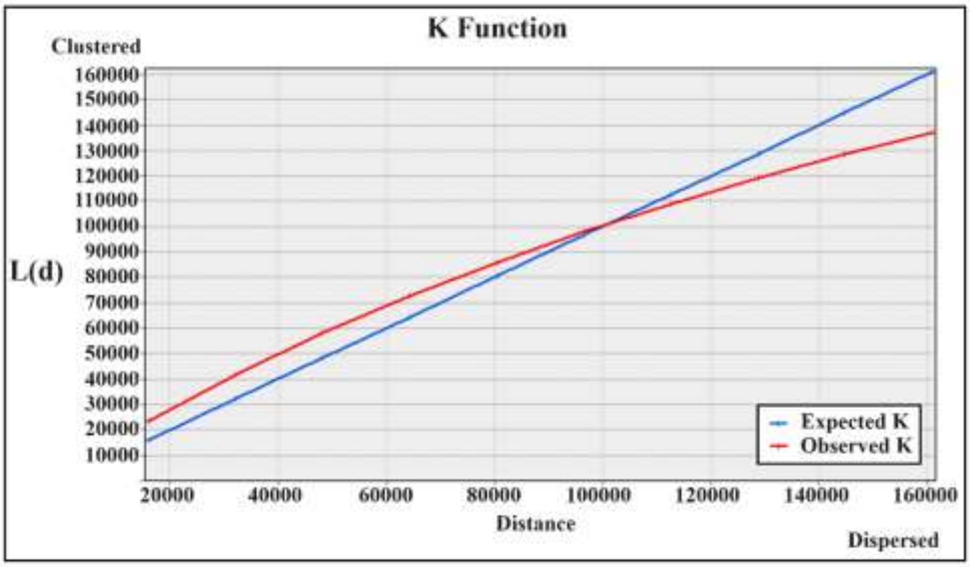
شکل ۳- نتایج آماره جی گیتس

Figure 3- The results of G Gates Index



شکل ٤- نتایج تابع موران

Figure 4- Moran's function results



شکل ۵- نتایج گرافیکی تحلیل تابع کاریپلی

Figure 5- Graphical results of Caripoli function analysis

در شکل ۵ هرچه منحنی نتایج مشاهده شده بالاتر از نتایج مورد انتظار (تصادفی) باشد به معنای آن است که مشاهدات در آن فاصله خوشه‌بندی شده‌اند. برعکس هرچه منحنی نتایج مشاهده شده به رنگ قرمز پایین‌تر از منحنی نتایج مورد انتظار باشد، در آن صورت پوشش برفی در آن فاصله از هم پراکنده‌تر هستند. با توجه به شکل ۳ در غرب ایران پیکسل‌هایی که به‌عنوان پوشش برفی شناسایی شده‌اند تا فاصله

۱۰۰ کیلومتری خوشه‌بندی شده‌اند که به لحاظ آماری نیز معنادار است.

از زمان ظهور تحقیقات مدرن بر پایه داده‌های ماهواره‌ای، پوشش برفی توجه جامعه علمی را به خود جلب کرده است. در کنار استخراج این پدیده، پایش تغییرات زمانی جهت اقدامات مدیریتی نیز ضروری است و می‌تواند یکی از بررسی‌های مهم جهت برنامه‌ریزی‌های محیطی باشد. در حال حاضر اکثر تحقیقات برآورد پوشش خاک با استفاده از سنجش‌ازدور بر روی استخراج شاخصی که بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی داشته باشد و یا استفاده از تصاویر باقدرت تفکیک‌های مکانی و باندی متفاوت تمرکز شده است. در این پژوهش پوشش برفی و روند آن با استفاده از ابزارهای سنجش از دور مورد توجه قرار گرفته است. در گام اول، شاخص پوشش برف در سه بازه زمانی به‌صورت میانه برای فصل زمستان برآورد گردید و مساحت برفی در هر دوره محاسبه شد، در گام بعدی با توجه به تغییرات مساحت پوشش برفی تصاویر روزانه به‌صورت سری زمانی استخراج شد و روند مکانی- زمانی آن با روش‌های کمی مورد واکاوی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان از پذیرش روند کاهشی در مساحت پوشش برف در فصل زمستان در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین با توجه به رفتار سالیانه سینوسی برف در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌توان بیان کرد که مؤلفه فصلی بودن بر تمام محدوده حاکم است، که به علت دور بودن نسبی محدوده غرب کشور از استوا، تغییرات دمایی با توجه فصلی بودن در این محدوده نمود پیدا می‌کند. هم سو با پژوهش حاضر در ایران مطالعات بسیاری با موضوع پایش تغییرات مکانی- زمانی پوشش برف مورد بررسی قرار گرفته است. عزیزی و همکاران (Azizi *et al*., 2017) تغییرات زمانی- مکانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی؛ مسعودیان و همکاران (Masoudian *et al*., 2017) در پایش تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه‌های ارتفاعی حوضه زاینده‌رود؛ میرموسوی و صبور (Mir Mousavi & Sabor, 2014) در پایش تغییرات پوشش برف در شمال غرب ایران؛ خسروی و همکاران (Khosravi *et al*., 2017) در بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری؛ صالحی و همکاران (Salahi *et al*., 2018) در حوضه آبخیز بالیقلوچای؛ فتاحی و مقیمی (Fatahi & Moghimi, 2019) در شمال غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ابزارهای سنجش از دور بر روندهای کاهشی پوشش برفی در مکان‌های مختلف در طول زمان تاکید دارند. با توجه به مباحث گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و کاهش منابع آبی واکاوی ذخایر برفی و روند مکانی- زمانی آن می‌تواند در تأمین منابع آبی سطحی و مدیریت آن و پایش فضایی آن بسیار با اهمیت باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و شاخص پوشش برف، پایش و روند سطوح پوشش برف در غرب ایران در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ بررسی شد. نتایج نشان داد که مساحت پوشش برف در فصل زمستان در این منطقه در حال کاهش است و رفتار سینوسی برف نیز در این منطقه مشاهده شد. تحلیل فضایی نشان داد که پراکندگی برف به تبعیت از آرایش مکانی ارتفاعات و بارش در این راستا گسترش دارد. همچنین، پوشش برف به سمت عرض‌های بالا و به طرف مرزهای غربی خوشه‌بندی شده است. نتایج این پژوهش می تواند در پایش و برنامه‌ریزی‌های محیطی برای درک تغییرات محدوده ی پوشش برفی مفید باشد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای در سامانه ابری گوگل ارث اینجین و تحلیل‌های مکانی تهیه‌ی نقشه‌های پوشش برف در مناطقی که دارای وسعت زیاد هستند صرفه‌جویی‌های مالی و زمانی زیادی دارد و در مناطقی که نمونه‌گیری در آن انجام نشده و یا با مسائلی همراه است می‌تواند بسیار کارا باشد. کاربران و اعضای ثبت‌نام‌شده پلت فرم گوگل ارث اینجین می‌توانند جهت تهیه نقشه‌های پوشش برف از این لینک[1] استفاده نمایند. پوشش برف در فصل زمستان می‌تواند بر تأخیر در کشت و برداشت محصولات کشاورزی تأثیر بگذارد و همچنین بر شرایط بیوژئوشیمیایی خاک و رشد گیاهان تأثیر داشته باشد. با مطالعه تغییرات پوشش برف در مناطق کشاورزی و برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت منابع آبی و کشت محصولات کشاورزی در شرایطی که پوشش برف کم است، می‌توان به کاهش اثرات منفی تغییرات آب و هوایی بر کشت و برداشت محصولات کمک کرد. همچنین از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و محیطزیستی بهره برد.

1 - https://code.earthengine.google.com/d43e5a92ae1deed32a0929f57b572756

References

1. Abrifam, M. (2010). Synoptic analysis of air masses entering western Iran in 1983-84. M.Sc., Razi University of Kermanshah. (In Persian)
2. Alijani, B. (2008). Effect of the Zagros Mountains on the spatial distribution of precipitation. *Journal of Mountain Science, 5*, 218–231. https://doi.org/10.1007/s11629-008-0126-8
3. Alijani, B. (2012). Synoptic climatology. Tehran: Samt Publications. (In persian)
4. Alijani, B. (2015). Spatial analysis. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 2*(3), 1-14. (In Persian)
5. Arndt, A., Azzoni, R.S., & Stötter, J. (2017). Physical and chemical properties of snow and their impact on the environment: A state-of-the-art review. *Snow Engineering and Avalanche Science, 1*(1), 1-24. https://doi.org/10.1553/scc1s1s1
6. Asakereh, H. (2012). Analysis of Heavy Precipitation Trends in Zanjan City. *Geography and Planning*, *16*(39), 73-88.
7. Asgari, A. (2011). *Spatial statistics analysis*, Tehran Municipality ICT Organization, First Edition.
8. Azizi, Q., Rahimi, M., Mohammadi, H., & Khoshakhlach, F. (2017). Temporal-spatial changes of snow cover on the southern slopes of Central Alborz, *Natural Geography Research*, *49*(3), 393-381. (In Persian)
9. Bashir, F., & Ghulam, R. (2010). Estimation of average snow cover over Northern Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology, 7*(13), 63-69.
10. Cheng, J., Ma, M., Li, X., Zhang, H., & Wang, Q. (2019). Spatial analysis of snow cover using satellite data and new geospatial tools in geomatics research. *Remote Sensing of Environment, 221*, 466-482. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.029
11. Eslamian, S.S., Soltani, S.V., & Zarei, A. (2005). *Application of statistical methods in water resources*. Arkan Press. Esfahan. (In persian)
12. Fatahi, A., & Moghimi, Sh. (2019). The effect of climate change on snow trend in northwestern Iran, *Applied Research in Geographical Sciences*, *54*, 63-47. (In Persian)
13. Ganji, M. (2003). Climatic divisions of Iran. *Bulletin of the National Center for Climatology*, *3*(1), 41. (In Persian)
14. Ghaemi, E., & Nouhi, A. (1976). *Statistical Analysis of Snowfall*, First Edition. Tehran Meteorological Organization Research Office Publications. (In Persian)
15. Ghulam, A., Zaman, Q.U., Ahmad, S., & Babel, M.S. (2021). Assessment of snow cover variability and trends in the Hindu Kush Himalaya using multi-source satellite data. *Science of the Total Environment*, *753*, 142041. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142041
16. Goodinson, B.E., Rango, A., & Walker, A.E. (2000). *Snow and ice, remote sensing in hydrology and water management*, Springer Pub, Berlin, 539-540.
17. Harvey, D. (1996). Explanation in Geography. London: Arnold
18. Ildermi, A., Habibnejad Roshan, M., Safari Shad, M., & Dalal Oglu, A. (2015). Using Modis images to prepare snow cover map (NDSI index and using MODIS case images of Bahar watershed), *Ahar Geographical Space, 15*(50), 125-140. (In Persian)
19. Khosravi, M., Tavosi, T., Raispur, K., & Omidi Qaleh Mohammadi, M. (2017). Investigation of changes in snow cover levels in Bakhtiari Zardkooh heights using remote sensing, *Hydrogeomorphology, 12*, 44-25. (In Persian)
20. Liu, Y., Lei, Y., Zhang, J., Li, X., Huang, X., & Wang, X. (2021). Spatiotemporal variations of snow cover in the Karakoram Mountains based on MODIS data from 2000 to 2019. *International Journal of Digital Earth, 14*(3), 313-328. https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1869246
21. Masoudian, S.A., & Kaykhosravi Kiani, M.S. (2017). Evaluation of changes in days with snow cover in the altitude groups of Zayandehrud basin, *Natural Environment Hazards, 11*, 46-33. (In Persian)
22. Mir Mousavi, S.H., Sabor, L. (2014). Monitoring snow cover changes using MODIS sensor images in northwestern Iran, *Geography and Development, 35*, 200-181. (In Persian)
23. Mojarad, F., Masoompour, J. (2013). Estimation of maximum probable precipitation by synoptic method in Kermanshah province. *Geographical Studies of Arid regions, 3*(1), 1-14. (In Persian)
24. Rasouli, A.A. (2011). *An introduction to Satelite meteorology and climatology*. Tabriz University Press, first edition. (In Persian)
25. Salahi, B., & Nakhostin Rohi, M. (2018). Spatial and temporal monitoring of snow cover with NOAA-AVHRR images in the period 2006-2007 (Case study of Balighlouchai watershed). *Iran Water Research, 3*, 97-89. (In Persian)
26. Wang, X., Zhang, Y., Li, W., Zhang, J., Huang, G., & Li, L. (2021). Spatiotemporal analysis of snow cover in the Pamir Mountains using MODIS data from 2000 to 2019. *Ecological Indicators, 121*, 107103. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107103
27. Zare Abyaneh, H. (2013). Estimation of Spatial distribution of snow water equivalent and snow density of the West Azarbaijan Province’s Basins. *Water Resources Engineering*, *5*(15), 1-11. (In Persian)

28. Zhang, Y., Li, W., Wang, X., Yang, X., & Huang, G. (2021). Spatiotemporal variability of snow cover in the Central Tianshan Mountains based on MODIS snow products from 2000 to 2018. *Journal of Arid Land*, *13*(2), 156-168. https://doi.org/10.1007/s40333-021-0062-8